Low flow estimation for New Brunswick Rivers

L'estimation des débits d'étiage en rivières au Nouveau-Brunswick

Hébert, C., N. El-Jabi, and/et D. Caissie

Department of Fisheries and Oceans
Gulf Region
Oceans and Science Branch
Diadromous Fish Section
P.O. Box 5030, Moncton N.B.,
E1C 9B6

Ministère des Pêches et Océans
Région du golfe
Direction des océans et des sciences
Section des poissons diadromes
C.P. 5030, Moncton N.-B.,
E1C 9B6

2003

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2493

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2493

Fisheries and Oceans Pêches et Océans

Canada

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and indexed in the Department's annual index to scientific and technical publications.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications complètes. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la revue *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*, et ils sont classés dans l'index annuel des publications scientifiques et techniques du Ministère.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

103-07552/

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2493

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2493

2003

Low flow estimation for New Brunswick Rivers

L'estimation des débits d'étiage en rivières au Nouveau-Brunswick

by / par

C. Hébert[1], N. El-Jabi[1] and/et D. Caissie[2]

Department of Fisheries and Oceans
Gulf Region
Oceans and Science Branch
Diadromous Fish Section
P.O. Box 5030, Moncton N.B., E1C 9B6

Ministère des Pêches et Océans
Région du golfe
Direction des océans et des sciences
Section des poissons diadromes
C.P. 5030, Moncton N.-B., E1C 9B6

1: Faculté d'ingénierie, Université de Moncton, Moncton, NB
2: Department of Fisheries and Oceans / Ministère des Pêches et Océans, Moncton, NB

© Minister of Supply and Services
Canada 2003
Cat. No. Fs 97-6/2493E ISSN 0706-6457

© Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 2003
No. de cat. Fs 97-6/2493F ISSN 0706-6570

Think Recycling!

Pensez à recycler!

Printed on recycled paper /
Imprimé sur du papier recyclé

Correct citation for this publication :

Hébert, C., N. El-Jabi, and D. Caissie. 2003. Low flow estimation for New Brunswick rivers. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2493: 24 p.

On doit citer la publication comme suit:

Hébert, C., N. El-Jabi, et D. Caissie. 2003. L'estimation des débits d'étiage en rivières au Nouveau-Brunswick. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2493: 24 p.

Project Team / Groupe du projet

This project was funded under the Climate Change Action Fund (Project # A367) to the following project team:

Ce projet fut subventionné par le fonds d'action pour le changement climatique (projet no. A367) au groupe ci-dessous :

Nassir El-Jabi:
Cindie Hébert
Université de Moncton

Daniel Caissie :
Fisheries and Oceans / Pêches et Océans

Brian Burrell:
Daryl Pupek:
Robert Hughes:
New Brunsiwick Department of the Environement and Local Government / Ministère de l'environnement et des gouvernements locaux

Warning:

Neither the organizations named in this Technical Report, nor any person acting on behalf of any of them assume any liability for the misuse or misunderstanding of the information presented in this study. The user is expected to make the final evaluation of the appropriateness of the technique and the accuracy of the data and calculations in his or her own set of circumstances.

Avertissement:

Les organisations énumérées dans ce rapport technique ou toute personne agissant en leurs noms déclinent toute responsabilité pour le mauvais emploi ou la mauvaise interprétation des renseignements contenus dans cette étude. Il incombe aux utilisateurs d'évaluer la pertinence des techniques et l'exactitude des données et calculs dans les circonstances qui s'appliquent.

Table of Contents / Table des matières

List of Tables / Liste des tableaux vi

List of Figures / Liste des figures vii

Abstract / Résumé viii

1.0 Introduction 1

2.0 Low flow frequency analysis / Analyse de fréquence des débits d'étiage 1

2.1 Selection of hydrometric stations / Sélection des stations hydrométriques 2
2.2 Low flow frequency analysis / Analyse de fréquence des débits d'étiage 2
2.3 Results / Résultats 3

3.0 Regionalization / Régionalisation 4

3.1 Regional low flow models / Modèle régional des débits d'étiage 4
3.2 Results / Résultats 5

4.0 Conclusion 5

Acknowledgements / Remerciements 6

References / Références 6

List of Tables / Liste des tableaux

1. Selected hydrometric stations in New Brunswick for the low flow analysis .

   Stations hydrométriques sélectionnées au Nouveau-Brunswick pour l'analyse des débits d'étiage 7

2. Low flow (m^3/s), 1-day duration, for return periods of 2, 10, 20, and 50 years at selected hydrometric stations in New Brunswick as determined by the Type III Extremal (Weibull) distribution function.

   Faibles débits (m^3/s) de 1 jour pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans aux stations hydrométriques du Nouveau-Brunswick selon la distribution des valeurs extrêmes du Type III (loi de Weibull) 8

3. Low flow (m^3/s), 7-day duration, for return periods of 2, 10, 20, and 50 years at selected hydrometric stations in New Brunswick as determined by the Type III Extremal (Weibull) distribution function.

   Faibles débits (m^3/s) de 7 jours pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans aux stations hydrométriques du Nouveau-Brunswick selon la distribution des valeurs extrêmes du Type III (loi de Weibull) 9

4. Low flow (m^3/s), 14-day duration, for return periods of 2, 10, 20, and 50 years at selected hydrometric stations in New Brunswick as determined by the Type III Extremal (Weibull) distribution function.

   Faibles débits (m^3/s) de 14 jours pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans aux stations hydrométriques du Nouveau-Brunswick selon la distribution des valeurs extrêmes du Type III (loi de Weibull) 10

5. Linear regression analysis of 1, 7, and 14-day low flows for return periods of 2, 10, 20, and 50 years, as a function of drainage area ($Log (LF_{t,d}) = a_1 + b_1 Log (DA)$)

   Analyse de régression linéaire des faibles débits de 1, 7 et 14 jours pour des périodes de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans en fonction de la superficie de drainage ($Log (LF_{t,d}) = a_1 + b_1 Log (DA)$) 11

6. Multiple regression analysis of 1, 7, and 14-day low flows for return periods of 2, 10, 20, and 50 years, as a function of basin drainage, and average annual precipitation ($Log (LF) = a_2 + b_2 Log (DA) + c_2 Log (PREC)$)

   Analyse de régression multiple des faibles débits de 1, 7 et 14 jours pour des périodes de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans, en fonction de la superficie de drainage et de la précipitation moyenne annuelle ($Log (LF) = a_2 + b_2 Log (DA) + c_2 Log (PREC)$) 11

List of Figures / Liste des figures

1. Location of selected stations throughout the province of New Brunswick (31 hydrometric stations and 7 meteorological stations).

Localisation à travers la province du Nouveau-Brunswick des stations sélectionnées (31 stations hydrométriques et 7 stations météorologiques)..... 12

2. The province of New Brunswick divided into homogenous precipitation zones according to Thiessen polygons, giving 7 distinct regions each represented by a meteorological station.

Province du Nouveau-Brunswick divisée en zones de précipitation homogène selon la méthode des polygones de Thiessen, donnant 7 régions distinctes, chacune représentée par une station météorologique 13

3. Regression analysis of 1-day low flow for return periods of 2, 10, 20, and 50 years (Log (Discharge, m^3/s) vs. Log (Drainage area, km^2)). Equations are applicable to basins with a drainage area from 129 km^2 to 14 700 km^2. N = number of analysed stations.

Analyse de régression des faibles débits de 1 jour pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans (Log (Débit, m^3/s) vs Log (Superficie de drainage, km^2)). Les équations s'appliquent pour les bassins ayant des superficies de drainage allant de 129 km^2 à 14 700 km^2. N = nombre de sations analysées..... 14

4. Regression analysis of 7-day low flow for return periods of 2, 10, 20, and 50 years (Log (Discharge, m^3/s) vs. Log (Drainage area, km^2)). Equations are applicable to basins with a drainage area from 129 km^2 to 14 700 km^2. N = number of analysed stations.

Analyse de régression des faibles débits de 7 jours pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans (Log (Débit, m^3/s) vs Log (Superficie de drainage, km^2)). Les équations s'appliquent pour les bassins ayant des superficies de drainage allant de 129 km^2 à 14 700 km^2. N = nombre de sations analysées..... 15

5. Regression analysis of 14-day low flow for return periods of 2, 10, 20, and 50 years (Log (Discharge, m^3/s) vs. Log (Drainage area, km^2)). Equations are applicable to basins with a drainage area from 129 km^2 to 14 700 km^2. N = number of analysed stations.

Analyse de régression des faibles débits de 14 jours pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans (Log (Débit, m^3/s) vs Log (Superficie de drainage, km^2)) Les équations s'appliquent pour les bassins ayant des superficies de drainage allant de 129 km^2 à 14 700 km^2. N = nombre de sations analysées..... 16

ABSTRACT

Hébert, C., N. El-Jabi, and D. Caissie. 2003. Low flow estimation for New Brunswick Rivers. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2493: 24 p.

This report presents the estimation of low flow characteristics in New Brunswick rivers using statistical analysis. The selection of the 31 hydrometric stations was initially carried out and then these stations were further analysed to estimate the low flow frequency for each river. Low flows for each station were calculated for 1, 7 and 14-day for a return period of 2, 10, 20 and 50 years. Following the characterisation of low flows in N.B. for each station, a regionalization of low flows for the province was performed.

Keywords:
Low flow, New Brunswick, Weibull, regionalization

RÉSUMÉ

Hébert, C., N. El-Jabi, et D. Caissie. 2003. L'estimation des débits d'étiage en rivières au Nouveau-Brunswick. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2493: 24 p.

Ce rapport présente l'estimation des débits d'étiage des rivières au Nouveau-Brunswick en utilisant l'analyse statistique. La sélection des 31 stations hydrométriques a premièrement été effectuée et ensuite elles ont été analysées pour estimer la fréquence des débits d'étiage de chaque station. Pour chaque station, les débits d'étiage de 1, 7 et 14 jours pour des périodes de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans ont été calculés. Suivant l'estimation des débits d'étiage, une régionalisation des faibles débits du Nouveau-Brunswick a été réalisée.

Mots clés :
Débits d'étiage, Nouveau-Brunswick, Weibull, régionalisation

1.0 INTRODUCTION

Water resource management in New Brunswick is essential to protect our aquatic environment and to ensure an adequate water supply for domestic, industrial, and agricultural needs. Recently, water withdrawal demand (e.g. irrigation, drinking water) has increased due to, among other reasons, population growth, contamination of existing water supplies, and climate change. When such pressures coincide with low streamflow conditions (i.e., low flow), aquatic resources, water quality, transportation, and recreational activities can be adversely affected.

Analysis of streamflow characteristics is important for mitigating the conflict between instream water use and water withdrawal demand. The risk of occurrence of low flow, a hydrologic parameter of rivers, is used in the design of water supply systems, water treatment installations, and hydraulic structures such as culverts, irrigation ditches and dams. Characteristics of low flow are also important for the management of aquatic resources, namely fish populations.

The objectives of this study were to examine low flow characteristics in New Brunswick rivers. Characteristics of low flow (1, 7, and 14-day) for different recurrence intervals (2, 10, 20, and 50 years) were determined separately for each river. Regional equations, describing low flow frequency in New Brunswick, were then generated. This study was designed to update *Low flow guidelines of New Brunswick*, previously published by Environment Canada and the New Brunswick Department of the Environment (1990).

2.0 LOW FLOW FREQUENCY ANALYSIS

Hydrologic data constitutes the fundamental information used by hydrologists to make predictions of low flow events and frequencies. The probabilistic approach is useful in the analysis due to the random nature of the low flow events and the flexibility of this approach in characterizing low flows. Such analysis of hydrologic data, also called a low flow frequency analysis, is commonly carried out using statistical methods. Statistical analysis consists of analysing the

1.0 INTRODUCTION

Au Nouveau-Brunswick, la gestion des ressources en eau est essentielle pour protéger notre environnement et assurer un approvisionnement en eau adéquat pour les besoins domestiques, industriels et agricoles. Depuis plusieurs années, la demande en eau (irrigation, eau potable, vie aquatique) ne cesse d'accroître dû, entre autres, à la croissance de la population, à la contamination des eaux d'approvisionnement et au changement climatique. Lorsque qu'une forte demande en eau est combinée aux conditions de faibles débits, la faune et flore aquatique, la qualité de l'eau, le transport et les activités récréatives peuvent en être grandement affectés.

L'analyse des débits des cours d'eau est importante pour atténuer les conflits entre le besoin et la demande en eau de ces cours d'eau. Le risque d'occurrence des débits d'étiage, un paramètre hydrologique des rivières, est utilisé pour le design de systèmes de distribution et de traitements des eaux, de structures hydrauliques (ponceaux), de fossés d'irrigation et de barrages. Les débits d'étiage sont aussi importants pour la gestion des ressources aquatiques et halieutiques.

Les objectifs de cette étude étaient d'analyser les caractéristiques des faibles débits des rivières du Nouveau-Brunswick. Les caractéristiques des faibles débits (1, 7 et 14 jours) pour différentes périodes de récurrence (2, 10, 20 et 50 ans) ont été déterminées séparément pour chaque rivière. Des équations régionales, qui décrivent la fréquence des faibles débits au Nouveau-Brunswick, ont été produites. Ce rapport est une mise à jour des *Lignes directrices sur l'estimation du faible débit pour le Nouveau-Brunswick*, publié antérieurement par Environnement Canada et le Ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick (1990).

2.0 ANALYSE DE FRÉQUENCE DES DÉBITS D'ÉTIAGE

L'information de base utilisée par les hydrologues pour prédire les événements de faibles débits et leur fréquence sont les données hydrologiques. Les méthodes probabilistes sont utiles pour cette analyse due à la nature aléatoire des faibles débits et à la flexibilité de cette approche pour déterminer les faibles débits. Cette analyse de données hydrologiques, aussi nommée analyse de fréquence des débits d'étiage, est souvent effectuée à l'aide

annual extreme low flow events (i.e. the annual minimums). When applied to river flows, this method considers only the most severe low flow event within a given time period, often chosen annually or by season.

d'une méthode statistique. L'analyse statistique consiste à analyser les débits d'étiage extrêmes annuels (minimums annuels). Cette méthode, lorsqu'elle est appliquée sur les débits de rivières, considère seulement les débits d'étiage extrêmes sur une période, souvent choisie comme étant annuelle ou saisonnière.

2.1 Selection of hydrometric stations

Daily streamflow flow data from 166 stations in New Brunswick were available from Environment Canada's hydrometric station database (HYDAT). However, the length and/or quality of the data time series was not sufficient at all stations to estimate low flows of a given duration and recurrence period. In addition, regulation of streamflow alters the natural flow regime and may not accurately reflect low flow frequency. As a result, 31 of the potential 166 hydrometric stations in New Brunswick were selected for analysis according to the following criteria; 1) unregulated flow, 2) a period of record of ≥ 20 years, and 3) operated in 2000. Selected stations were representative of all areas in New Brunswick, except for the north-central part of the province where few hydrometric stations were available (Fig. 1). Location of selected hydrometric stations, drainage area, period of record and minimum flow are listed in Table 1.

2.1 Sélection des stations hydrométriques

166 stations hydrométriques du Nouveau-Brunswick étaient disponibles de la base de données d'Environnement Canada (HYDAT). Toutefois, la longueur ou/et la qualité des séries de données n'étaient pas satisfaisantes à toutes les stations pour estimer les débits d'étiage pour une durée et une période de récurrence donnée. De plus, la régularisation des débits peut changer le débit naturel et ne pas représenter la fréquence des faibles débits. Donc, 31 des 166 stations hydrométriques potentielles du Nouveau-Brunswick ont été sélectionnées selon trois critères suivants : 1) écoulement naturel, 2) période d'enregistrement ≥ 20 ans et 3) en opération en l'an 2000. Les stations sélectionnées représentent toutes les régions du Nouveau-Brunswick à l'exception de la partie centrale nord de la province où l'on retrouve peu de stations hydrométriques (fig. 1). Le tableau 1 représente la localisation des stations hydrométriques sélectionnées, la superficie de drainage, la période d'enregistrement ainsi que le débit minimum enregistré.

2.2 Low flow frequency analysis

At each station, the annual (January 1 - December 31) average minimum daily flow for 1, 7, and 14-day duration were fitted using a Type III Extremal (Weibull) distribution in order to assess low flows for recurrence periods of 2, 10, 20, and 50 years (Kite, 1988). Three methods of parameter estimation were used: the method of moments, the method of smallest observed drought (Kite, 1988), and the method of maximum likelihood.

2.2 Analyse de fréquence des débits d'étiage

Pour chaque station, les débits quotidiens moyens minimums annuels (1 janvier - 31 décembre) pour une durée de 1, 7, et 14 jours ont été ajustés par la distribution des valeurs extrêmes du type III (loi de Weibull) pour estimer les faibles débits pour des périodes de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans (Kite, 1988). Trois méthodes d'estimation des paramètres ont été utilisées : la méthode des moments, la méthode de la plus petite sécheresse observée, et la méthode du maximum de vraisemblance.

The cumulative distribution function is described as:

La fonction de répartition est donnée par :

$$P(x) = e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta-\gamma}\right)^{\alpha}} \qquad [1]$$

and the probability density function is written as :

et la fonction de densité de probabilité est :

$$p(x) = \frac{\alpha}{(\beta-\gamma)}\left\{\frac{x-\gamma}{\beta-\gamma}\right\}^{(\alpha-1)} e^{-\left\{\frac{x-\gamma}{\beta-\gamma}\right\}^{\alpha}} \qquad [2]$$

where :
α = shape parameter.
β = characteristic drought.
γ = lower limit to x.

If $\gamma = 0$ in the Weibull distribution, the lower limit to x is zero.

The parameters of the type III extremal distribution can be estimated by different methods including the method of moments. The general equation for calculating the n^{th} moment about the origin of a distribution is given by :

$$\mu'_n = \int_{-\infty}^{\infty} x^n p(x) dx \qquad [3]$$

This equation calculates the first moment about the origin of the distribution to estimate the parameters of the distribution. In this particular study the method of moments was used to estimate the parameters based on Kite (1988).

2.3 Results

The program "Frequency Analysis of Maxima or Minima" (Kite, 1988) was used for the analysis of each station. Not all parameter estimation methods did converge for every station. Therefore, the method of moments was used throughout the analysis because this method did not have a convergence problem, and it provided results similar to the other estimation methods. Low flows of 1, 7, and 14 days duration at recurrence periods of 2, 10, 20, and 50 years are presented in Tables 2-4. Due to extremely low water conditions at a few stations, the program did not provide any results for them (in particular for station 01AK006, 01AL004 and 01AM001 for higher return low flows). Also, depending on the duration (1-day, 7-day, and 14-day), other stations had to be eliminated from the analysis due to extreme low flows not representative of the general low flow conditions. In particular, stations 01AK007 and 01AQ001 for the 1-day low flows and station 01AK007 for the 7-day low flows.

où :
α = paramètre de forme.
β = caractéristique de sécheresse.
γ = limite inférieure à x.

Si $\gamma = 0$ dans la distribution de Weibull, la limite inférieure à x est égale à 0.

Les paramètres de la loi des valeurs extrêmes du type III peuvent être estimés par différentes méthodes, par exemple la méthode des moments. L'équation générale pour calculer le $n^{ième}$ moment à partir de l'origine d'une distribution est donnée par :

Cette équation calcule le premier moment à partir de l'origine de la distribution pour estimer les paramètres de la distribution. Dans cette étude la méthode des moments fut utilisée pour l'estimation des paramètres, selon Kite (1988).

2.3 Résultats

Le programme "Frequency Analysis of Maxima or Minima" (Kite, 1988) a été utilisé pour l'analyse de chaque station. Pas toutes les méthodes d'estimation des paramètres ont convergé pour toutes les stations. Cependant, la méthode des moments a été utilisée pour toutes les analyses parce qu'elle convergeait toujours et donnait des résultats similaires aux autres méthodes d'estimation. Les faibles débits de 1, 7, et 14 jours à des périodes de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans sont représentés dans les tableaux 2-4. Pour certaine rivière, les débits étaient trop faibles et le logiciel n'a pu fournir de résultats (en particulier pour les stations 01AK006, 01AL004 et 01AM001 pour les débits faibles de récurrences élevées). Egalement, selon la durée (1 jour, 7 jours et 14 jours), d'autres stations ont été éliminé de l'analyse due aux débits extrêmement faibles et qui ne représentaient pas les conditions générales des débits d'étiage. En particulier, les stations 01AK007 et 01AQ001 pour les débits d'étiage de 1 jour et la station 01AK007 pour les débits d'étiage de 7 jours.

3.0 REGIONALIZATION

In New Brunswick, marked differences in hydrologic characteristics were apparent in both closely located and distant drainage basins. As a result, single station low flow frequency analyses are best applied to locations on the same stream. However, low flow characteristics are not available for all drainage basins in New Brunswick due to the absence of a gauging station or poor quality of collected streamflow data. Therefore, regional relationships were developed to estimate low flow at drainage basins within homogenous low flow zones having similar physiographic and climatic characteristics (Environment Canada and New Brunswick Department of the Environment, 1990).

Physiographic and climatic characteristics (e.g. area of lakes and swamps, average water content of snow cover, basin perimeter, drainage area, latitude, longitude, mean annual precipitation, and mean annual runoff) influence low flow characteristics. However, not all of these parameters are readily available or easily calculated at drainage basins of interest in New Brunswick. Only drainage area and mean annual precipitation was retained to carry out the regionalization.

3.1 Regional low flow models

Regional low flow models were developed for 1, 7, and 14-day low flow for recurrence periods of 2, 10, 20, and 50 years using regression analysis. Hydrometric stations 01AK006, 01AL004, and 01AM001 were excluded from regionalization due to insufficient streamflow data. Depending on the duration (1-day, 7-day and 14-day), more stations had to be eliminated from the regionalization due to extremely low flow not representative of the general low flow conditions. In particular, stations 01AK007 and 01AQ001 for the 1-day low flows and station 01AK007 for the 7-day low flows. Initially, low flow and basin drainage area were included in the linear regression model according to the following equation :

3.0 RÉGIONALISATION

Au Nouveau-Brunswick, on remarque des différences évidentes dans les caractéristiques hydrologiques entre les bassins versants rapprochés ou éloignés. En conséquence, l'analyse de fréquence des débits d'étiage des stations individuelles est mieux appliquée aux endroits situés sur le même cours d'eau. Cependant, les débits d'étiage ne sont pas disponibles pour tous les bassins versants du Nouveau-Brunswick dû à l'absence de stations de jaugeage ou à la faible qualité des données recueillies. Donc, une régionalisation a été développée pour estimer les débits d'étiage pour les bassins versants de zones de débits d'étiage homogène ayant des caractéristiques physiographiques et climatiques semblables (Environnement Canada et le Ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick, 1990).

Les caractéristiques physiographiques et climatiques (superficie des lacs et marais, teneur en eau moyenne des couvertures de neige, périmètre du bassin, superficie du bassin versant, latitude, longitude, précipitation moyenne annuelle, et ruissellement moyen annuel) influencent les caractéristiques des débits d'étiage. Cependant, ces paramètres ne sont pas tous aisément disponible ou facilement calculables pour des bassins versants d'intérêt au Nouveau-Brunswick. Seulement la superficie de drainage et la précipitation moyenne annuelle a été utilisée pour la régionalisation.

3.1 Modèle régional des débits d'étiage

Un modèle régional des débits d'étiage a été développé pour des faibles débits de 1, 7 et 14 jours pour des périodes de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans, en utilisant une analyse de régression. Les stations hydrométriques 01AK006, 01AL004 et 01AM001 ont été exclus de la régionalisation, car leurs enregistrements de débits étaient insuffisants. Selon la durée (1 jour, 7 jours et 14 jours), d'autres stations ont été éliminées de la régionalisation due aux débits extrêmement faibles et qui ne représentaient pas les conditions générales des débits d'étiage. En particulier, les stations 01AK007 et 01AQ001 pour les débits d'étiage de 1 jour et la station 01AK007 pour les débits d'étiage de 7 jours. Initialement, les faibles débits et les superficies des bassins versants ont été inclus dans le modèle de régression linéaire, selon l'équation suivante :

$$Log(LF_{t,d}) = a_1 + b_1 \log(DA) \qquad [4]$$

where: $LF_{t,d}$ = low flow (m^3/s) for return period (t) and duration (d)
DA = drainage area (km^2) upstream of the site
a_1, b_1 = regression constant and coefficient

où : $LF_{t,d}$ = débit (m^3/s) pour une période de récurrence (t) et une durée (d)
DA = superficie du bassin versant (km^2) en amont du site
a_1, b_1 = constante et coefficient de régression

Subsequently, in an effort to further enhance the predictability of low flow, average annual precipitation was included in the regionalization models. New Brunswick was divided into homogenous precipitation zones according to Thiessen polygons, giving 7 distinct regions each represented by a meteorological station (Fig. 2). Hydrometric stations within a given region were associated with the average annual precipitation for that region. Multiple regression analysis was carried out with the low flows as a function of drainage area and average annual precipitation, according to the following equation:

Ensuite, pour tenter d'améliorer les prédictions des débits d'étiage, la précipitation moyenne annuelle a été incluse dans le modèle de régionalisation. Le Nouveau-Brunswick a été divisé en zones de précipitation homogène selon la méthode des polygones de Thiessen, donnant 7 régions distinctes, chacune représentée par une station météorologique (fig. 2). Chaque station hydrométrique appartenant à la même région a été associée à la précipitation moyenne annuelle de cette même région. Une analyse de régression multiple a été effectuée avec les faibles débits en fonction de la superficie de drainage et de la précipitation moyenne annuelle, selon l'équation suivante :

$$Log(LF_{t,d}) = a_2 + b_2 \log(DA) + c_2 \log(PREC)$$

where: $LF_{t,d}$ = low flow (m^3/s) for return period (t) and duration (d)
DA = drainage area (km^2) upstream of the site
PREC = average annual precipitation (mm)
a_2, b_2, c_2 = regression constant and coefficients

où : $LF_{t,d}$ = débit (m^3/s) pour une période de récurrence (t) et une durée (d)
DA = superficie du bassin versant (km^2) en amont du site
PREC = précipitation moyenne annuelle (mm)
a_2, b_2, c_2 = constante et coefficients de régression

3.2 Results

Regionalization using linear regression analysis gave good results with coefficients of determination (R^2) varying from 0.73 to 0.92, and p values of less than or equal to 0.001 (Table 5). Regional low flow models (1, 7, and 14-day) are presented in Figures 3-5. The inclusion of precipitation in regionalization models slightly improves the coefficients of determination (0.78 – 0.95, Table 6). However, it does not contribute significantly to the explanation of the variance of low flows in NB.

3.2 Résultats

La régionalisation utilisant l'analyse de régression linéaire donne de bons résultats avec des coefficients d'explication (R^2) variant de 0.73 à 0.92 et des valeurs de p plus petites ou égales à 0.001 (tableau 5). Les figures 3-5 représentent les graphiques des modèles de régionalisation des débits d'étiage (1, 7 et 14 jours). L'ajout de la précipitation dans le modèle de régionalisation augmente un peu les coefficients d'explication (0.78 – 0.95, tableau 6). Cependant, elle ne semble pas contribuer d'une façon significative à l'explication de la variance des débits d'étiage au N.-B.

4.0 CONCLUSION

Statistical analysis is very useful for the estimation of the low flow frequencies and their respective characteristics. For the 31 hydrometric stations analysed, results were obtained for individual stations. These data are essential to enable low flow analysis for the studied rivers. If low flow characteristics are

4.0 CONCLUSION

L'analyse statistique est très utile pour l'estimation des débits d'étiage et de ses caractéristiques. Pour les 31 stations hydrométriques analysées, les résultats ont été obtenus pour les stations individuelles. Les données sur les sites individuelles sont essentielles pour analyser les faibles débits des

required for ungauged basins, then the regionalization equations are essential. With the regionalization equations, the estimation of the low flows for a wide range of basins can be calculated on a variety of streams in N.B. Engineers, biologists and water resources managers using such low flow estimates in design and/or evaluation of projects should also exercise good judgement in their analyses.

The annual average precipitation does not seem to make a significant improvement in the overall explanation of low flows, therefore the regression of the low flows as a function of the drainage area only can be used in most cases.

rivières étudiées. Si les caractéristiques des faibles débits sont requises pour les bassins ne possédant pas de station de jaugeage, les équations de régionalisation sont donc essentielles. À l'aide des équations de régionalisation, l'estimation des débits d'étiage peut être effectuée pour une variété de cours d'eau au N.-B. Les ingénieurs, biologistes ou gestionnaires des ressources hydrauliques utilisant ces estimations sur les débits d'étiage pour la conception et/ou évaluation de projets, doivent faire preuve de bons jugements dans leurs analyses.

La précipitation moyenne annuelle ne semble pas améliorer grandement l'estimation des faibles débits donc, la régression des faibles débits en fonction de la superficie de drainage peut être utilisée dans la plupart des cas.

ACKNOWLEDGEMENTS

The characterisation of low flows in New Brunswick is part of a larger project studying climate change issues in this province: Project A-367 entitled '*Climate change impacts on low flow characteristics of New Brunswick Rivers and adaptation strategies for instream flow needs*'. Funding was also provided by the province of New Brunswick - "Your Environmental Trust Fund at Work". Authors would like to thank Mr. J.H. Conlon and Dr. F. Ashkar for reviewing the manuscript.

REMERCIEMENTS

L'estimation des débits d'étiage au Nouveau-Brunswick fait partie d'un plus grand projet sur l'étude des changements climatiques dans cette province, notamment le projet A-367 intitulé : *'L'effet du changement climatique sur les faibles débits des rivières du Nouveau-Brunswick et les stratégies d'adaptation des besoins d'écoulement'*. La province du Nouveau-Brunswick a aussi fourni un support financier - Votre Fonds en fiducie pour l'environnement au travail. Les auteurs tiennent à remercier J.H. Conlon et Dr F. Ashkar pour la revue de ce rapport.

REFERENCES

Environment Canada and New Brunswick Department of the Environment. 1990. Low flow estimation guidelines for New Brunswick. Inland Waters / Water Resource Planning Branch, 43 pp.

Environment Canada. 2002. Hydat 2000 – 2.01. Surface water and sediment data, Water Survey of Canada, Ottawa, Ontario

Kite, G. W. 1988. Frequency and risk analyses in hydrology, Water resources publications, Littleton, Colorado, U.S.A.

RÉFÉRENCES

Environnement Canada et Ministère de L'Environnement du Nouveau-Brunswick. 1990. Lignes directrices sur l'estimation du faible débit pour le Nouveau- Brunswick. Eaux intérieures / Direction de la planification des ressources en eau, 50 pp.

Environnement Canada. 2002. Hydat 2002 – 2.01. Données sur les eaux de surface et sur les sédiments, Relevées hydrologiques du Canada, Ottawa, Ontario,

Kite, G. W. 1988. Frequency and risk analyses in hydrology, Water resources publications, Littleton, Colorado, U.S.A.

Table 1. Selected hydrometric stations in New Brunswick for the low flow analysis.

Tableau 1. Stations hydrométriques sélectionnées au Nouveau-Brunswick pour l'analyse des débits d'étiage.

ID	Hydrometric Station / Station Hydrométrique	Latitude, Longitude	Drainage Area (km^2) / Superficie de Drainage (km^2)	Period of Record / Période d'enregistrement	Minimum Flow (m^3/s) / Débit Minimum (m^3/s)
01AD002	Saint John R. at Fort Kent	47° 15' N, 68° 36' W	14 700	1927-99	92.9
01AD003	St. Francis R. at outlet of Glacier Lake	47° 12' N, 68° 57' W	1 350	1952-99	7.7
01AE001	Fish R. near Fort Kent	47° 14' N, 68° 35' W	2 260	1981-99	13.2
01AF007	Grande R. at Violette Bridge	47° 15' N, 67° 55' W	339	1977-99	2.2
01AJ003	Meduxnekeag R. near Belleville	46° 13' N, 67° 44' W	1 210	1968-99	4.2
01AJ004	Big Presque Isle Stream at Tracey Mills	46° 26' N, 67° 45' W	484	1968-99	2.2
01AJ010	Becaguimec Stream at Coldstream	46° 20' N, 67° 28' W	350	1974-99	1.4
01AK001	Shogomoc Stream near TCH	45° 57' N, 67° 19' W	234	1919-40	0.6
01AK006	Middle Branch Nashwaaksis Stream near Sandwith's Farm	46° 05' N, 66° 44' W	6	1944-99 1967-99	<0.1
01AK007	Nackawic Stream	46° 03' N, 67° 14' W	240	1968-99	0.3
01AL002	Nashwaak R. at Durham Bridge	46° 08' N, 66° 37' W	1 450	1962-99	8.6
01AL004	Narrows Mountain Bk. near Narrows Mountain	46° 17' N, 67° 01' W	4	1972-99	<0.1
01AM001	North Branch Oromocto R. at Tracy	45° 40' N, 66° 41' W	557	1963-99	1.3
01AN002	Salmon R. at Castaway	46° 17' N, 65° 43' W	1 050	1974-99	4.2
01AP002	Canaan R. at East Canaan	46° 04' N, 65° 22' W	668	1926-40	1.1
01AP004	Kennebecasis R. at Apohaqui	45° 42' N, 65° 36' W	1 100	1963-99 1962-99	4.7
01AQ001	Lepreau R. at Lepreau	45° 10' N, 66° 28' W	239	1919-99	1.2
01BC001	Restigouche R. below Kedgwick R.	47° 40' N, 67° 29' W	3 160	1963-99	25.0
01BE001	Upsalquitch R. at Upsalquitch	47° 50' N, 66° 53' W	2 270	1919-32 1944-99	13.9
01BJ003	Jacquet R. near Durham Centre	47° 54' N, 66° 02' W	510	1965-99	2.5
01BJ007	Restigouche R., Rafting Ground Bk.	47° 54' N, 66° 57' W	7 740	1969-99	61.7
01BJ010	Middle R. near Bathurst	47° 37' N, 65° 43' W	217	1982-99	0.8
01BL002	R. Caraquet at Burnsville	47° 42' N, 65° 09' W	173	1970-99	1.4
01BL003	Big Tracadie R. at Murchy Bridge Crossing	47° 26' N, 65° 06' W	383	1971-99	3.0
01BO001	SW Miramichi R. at Blackville	46° 44' N, 65° 50' W	5 050	1919-32 1962-99	38.4
01BP001	Little SW Miramichi R. at Lyttleton	46° 56' N, 65° 54' W	1 340	1952-99	11.9
01BQ001	NW Miramichi R. at Trout Bk.	47° 06' N, 65° 50' W	948	1962-99	6.4
01BS001	Coal Branch R. at Beersville	46° 27' N, 65° 04' W	166	1965-99	0.5
01BU002	Petitcodiac R. near Petitcodiac	45° 57' N, 65° 10' W	391	1962-99	0.9
01BU003	Turtle Creek at Turtle Creek	45° 57' N, 64° 53' W	129	1963-99	0.5
01BV006	Point Wolfe R. at Fundy National Park	45° 34' N, 65° 01' W	130	1965-99	1.2

Table 2. Low flow (m^3/s), 1-day duration, for return periods of 2, 10, 20, and 50 years at selected hydrometric stations in New Brunswick as determined by the Type III Extremal (Weibull) distribution function.

Tableau 2. Faibles débits (m^3/s) de 1 jour pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans aux stations hydrométriques du Nouveau-Brunswick selon la distribution des valeurs extrêmes du Type III (loi de Weibull).

	Return Period / Période de Récurrence			
Station	2 years / 2 ans	10 years / 10 ans	20 years / 20 ans	50 years / 50 ans
01AD002	31.5	18.4	15.5	12.9
01AD003	3.36	2.30	2.12	1.97
01AE001	6.39	3.81	2.94	1.92
01AF007	0.585	0.337	0.280	0.226
01AJ003	1.33	0.453	0.324	0.228
01AJ004	0.802	0.339	0.234	0.134
01AJ010	0.505	0.257	0.197	0.139
01AK001	0.263	0.079	0.057	0.042
01AK006	0.001	-	-	-
01AK007	0.066	0.014	0.006	0.000
01AL002	3.78	2.71	2.57	2.48
01AL004	0.007	0.003	0.003	0.002
01AM001	0.374	0.043	0.011	-
01AN002	1.95	1.234	1.125	1.042
01AP002	0.438	0.181	0.145	0.118
01AP004	2.64	1.54	1.29	1.05
01AQ001	0.503	0.138	0.063	-
01BC001	9.72	5.52	4.23	2.76
01BE001	5.70	3.92	3.58	3.28
01BJ003	0.999	0.609	0.525	0.448
01BJ007	22.9	14.5	12.5	10.7
01BJ010	0.254	0.125	0.105	0.090
01BL002	0.676	0.459	0.403	0.344
01BL003	1.46	1.01	0.952	0.908
01BO001	18.5	13.9	13.3	12.8
01BP001	5.48	3.59	3.17	2.77
01BQ001	2.67	1.86	1.69	1.55
01BS001	0.214	0.112	0.091	0.073
01BU002	0.398	0.186	0.147	0.114
01BU003	0.321	0.210	0.186	0.164
01BV006	0.329	0.145	0.116	0.094

Table 3. Low flow (m^3/s), 7-day duration, for return periods of 2, 10, 20, and 50 years at selected hydrometric stations in New Brunswick as determined by the Type III Extremal (Weibull) distribution function.

Tableau 3. Faibles débits (m^3/s) de 7 jours pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans aux stations hydrométriques du Nouveau-Brunswick selon la distribution des valeurs extrêmes du Type III (loi de Weibull).

	Return Period / Période de Récurrence			
Station	2 years / 2 ans	10 years / 10 ans	20 years / 20 ans	50 years / 50 ans
01AD002	32.9	18.7	15.7	12.9
01AD003	3.51	2.41	2.21	2.05
01AE001	6.76	3.96	3.09	2.10
01AF007	0.615	0.343	0.284	0.229
01AJ003	1.60	0.549	0.377	0.243
01AJ004	0.936	0.439	0.326	0.218
01AJ010	0.588	0.323	0.267	0.217
01AK001	0.309	0.097	0.069	0.049
01AK006	0.002	-	-	-
01AK007	0.092	0.021	0.010	0.000
01AL002	4.22	2.87	2.68	2.56
01AL004	0.009	0.004	0.003	0.002
01AM001	0.446	0.047	0.004	-
01AN002	2.13	1.30	1.16	1.04
01AP002	0.546	0.199	0.144	0.102
01AP004	2.93	1.68	1.38	1.09
01AQ001	0.584	0.171	0.091	0.022
01BC001	9.96	6.98	6.36	5.80
01BE001	6.01	4.03	3.63	3.28
01BJ003	1.06	0.649	0.557	0.471
01BJ007	23.9	15.3	13.4	11.5
01BJ010	0.286	0.147	0.123	0.103
01BL002	0.705	0.476	0.418	0.361
01BL003	1.504	1.048	0.99	0.95
01BO001	19.8	14.5	13.7	13.1
01BP001	5.78	3.84	3.43	3.05
01BQ001	2.81	1.96	1.79	1.65
01BS001	0.241	0.135	0.115	0.098
01BU002	0.458	0.220	0.174	0.133
01BU003	0.350	0.230	0.206	0.185
01BV006	0.391	0.174	0.137	0.107

Table 4. Low flow (m^3/s), 14-day duration for return periods of 2, 10, 20, and 50 years at selected hydrometric stations in New Brunswick as determined by the Type III Extremal (Weibull) distribution function.

Tableau 4. Faibles débits (m^3/s) de 14 jours pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans aux stations hydrométriques du Nouveau-Brunswick selon la distribution des valeurs extrêmes du Type III (loi de Weibull).

	Return Period / Période de Récurrence			
Station	2 years / 2 ans	10 years / 10 ans	20 years / 20 ans	50 years / 50 ans
01AD002	34.8	19.2	15.9	12.9
01AD003	3.66	2.49	2.28	2.12
01AE001	7.19	4.26	3.34	2.27
01AF007	0.659	0.378	0.316	0.258
01AJ003	1.82	0.694	0.525	0.4
01AJ004	1.06	0.498	0.366	0.24
01AJ010	0.689	0.399	0.339	0.287
01AK001	0.358	0.109	0.072	0.046
01AK006	0.003	-	-	-
01AK007	0.119	0.031	0.016	0.004
01AL002	4.65	3.08	2.86	2.70
01AL004	0.010	0.005	0.004	0.003
01AM001	0.537	0.049	-	-
01AN002	2.315	1.339	1.16	1.011
01AP002	0.600	0.249	0.208	0.182
01AP004	3.21	1.80	1.51	1.25
01AQ001	0.678	0.198	0.107	0.030
01BC001	10.38	7.22	6.56	5.97
01BE001	6.26	4.12	3.70	3.32
01BJ003	1.12	0.673	0.572	0.476
01BJ007	24.8	15.9	14.0	12.2
01BJ010	0.323	0.164	0.132	0.105
01BL002	0.741	0.500	0.442	0.384
01BL003	1.56	1.09	1.031	0.991
01BO001	21.2	15.1	14.1	13.4
01BP001	6.12	4.06	3.62	3.22
01BQ001	3.04	2.08	1.87	1.69
01BS001	0.260	0.152	0.134	0.120
01BU002	0.524	0.254	0.203	0.159
01BU003	0.367	0.246	0.224	0.206
01BV006	0.464	0.200	0.153	0.114

Table 5. Linear regression analysis of 1, 7, and 14-day low flows for return periods of 2, 10, 20, and 50 years, as a function of basin drainage area (Log ($LF_{t,d}$) = a_1 + b_1 Log (DA)).

Tableau 5. Analyse de régression linéaire des faibles débits de 1, 7 et 14 jours pour des périodes de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans en fonction de la superficie de drainage (Log ($LF_{t,d}$) = a_1 + b_1 Log (DA)).

Period / Période	a_1	b_1	R^2	p
		1 day / 1 jour		
2 years / 2ans	-3.036	1.121	0.909	0.001
10 years / 10 ans	-3.472	1.185	0.850	0.001
20 years / 20 ans	-3.593	1.200	0.827	0.001
50 years / 50 ans	-3.705	1.208	0.795	0.001
		7 days / 7 jours		
2 years / 2 ans	-2.923	1.097	0.920	0.001
10 years / 10 ans	-3.397	1.172	0.864	0.001
20 years / 20 ans	-3.562	1.201	0.835	0.001
50 years / 50 ans	-3.804	1.250	0.779	0.001
		14 days / 14 jours		
2 years / 2 ans	-2.978	1.121	0.897	0.001
10 years / 10 ans	-3.629	1.243	0.835	0.001
20 years / 20ans	-3.832	1.283	0.811	0.001
50 years / 50 ans	-4.023	1.324	0.730	0.001

Table 6. Multiple regression analysis of 1, 7, and 14-day low flows for return periods of 2, 10, 20, and 50 years, as a function of basin drainage area, and average annual precipitation (Log (LF) = a_2 + b_2 Log (DA) + c_2 Log (PREC)).

Tableau 6. Analyse de régression multiple des faibles débits de 1, 7 et 14 jours pour des périodes de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans, en fonction de la superficie de drainage et de la précipitation moyenne annuelle (Log (LF) = a_2 + b_2 Log (DA) + c_2 Log (PREC)).

Period / Période	a_2	b_2	c_2	R^2	p
			1 day / 1 jour		
2 years / 2 ans	-0.885	1.079	-0.672	0.939	0.001
10 years / 10 ans	-0.360	1.125	-0.973	0.896	0.001
20 years / 20 ans	-0.476	0.074	-1.032	0.878	0.001
50 years / 50 ans	-0.459	1.130	-1.000	0.851	0.001
			7 days / 7 jours		
2 years / 2 ans	-2.417	1.059	-0.130	0.945	0.001
10 years / 10 ans	0.668	1.107	-1.283	0.906	0.001
20 years / 20 ans	2.764	1.123	-2.020	0.889	0.001
50 years / 50 ans	8.144	1.136	-3.849	0.859	0.001
			14 days / 14 jours		
2 years / 2 ans	-3.073	1.069	0.084	0.924	0.001
10 years / 10 ans	-1.161	1.134	-0.711	0.866	0.001
20 years / 20 ans	0.563	1.153	-1.328	0.845	0.001
50 years / 50 ans	5.852	1.157	-3.110	0.784	0.001

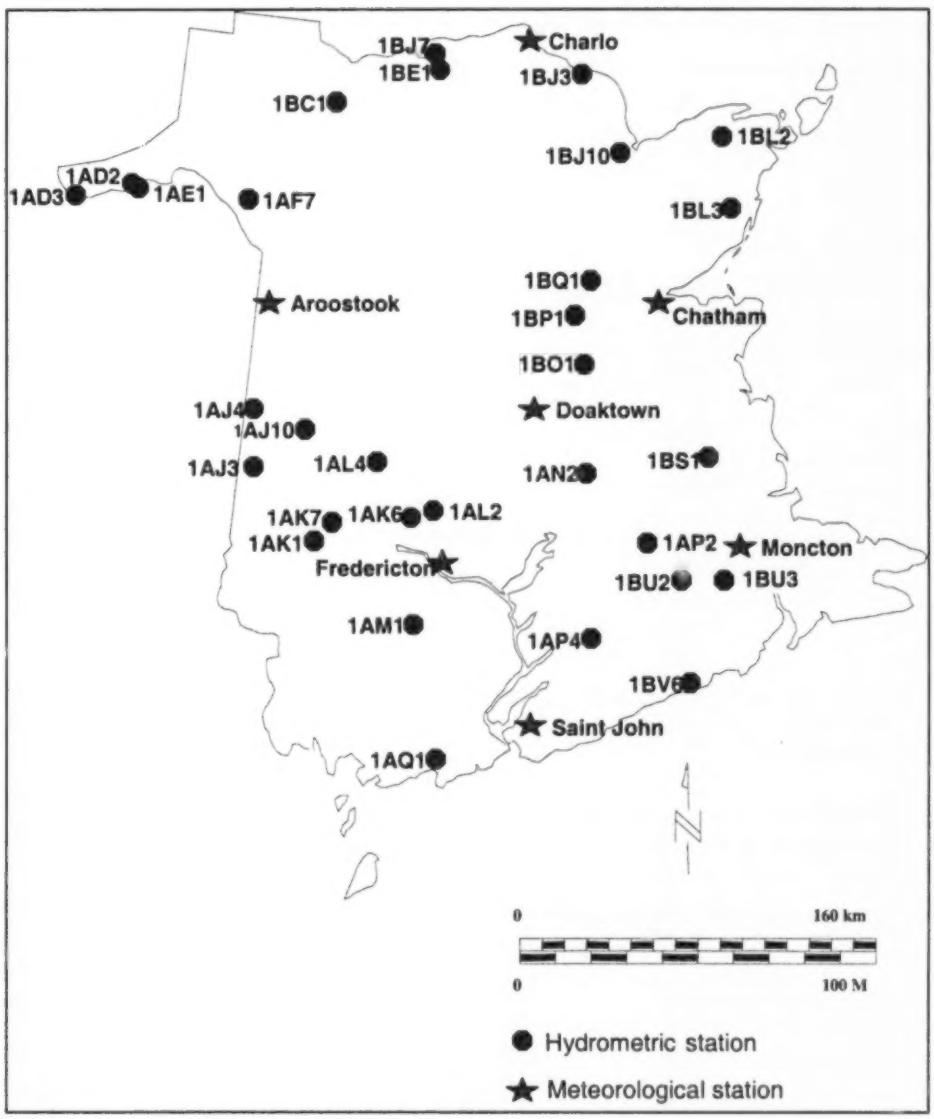

Figure 1. Location of selected stations throughout the province of New Brunswick (31 hydrometric stations and 7 meteorological stations).

Localisation à travers la province du Nouveau-Brunswick des stations sélectionnées (31 stations hydrométriques et 7 stations météorologiques).

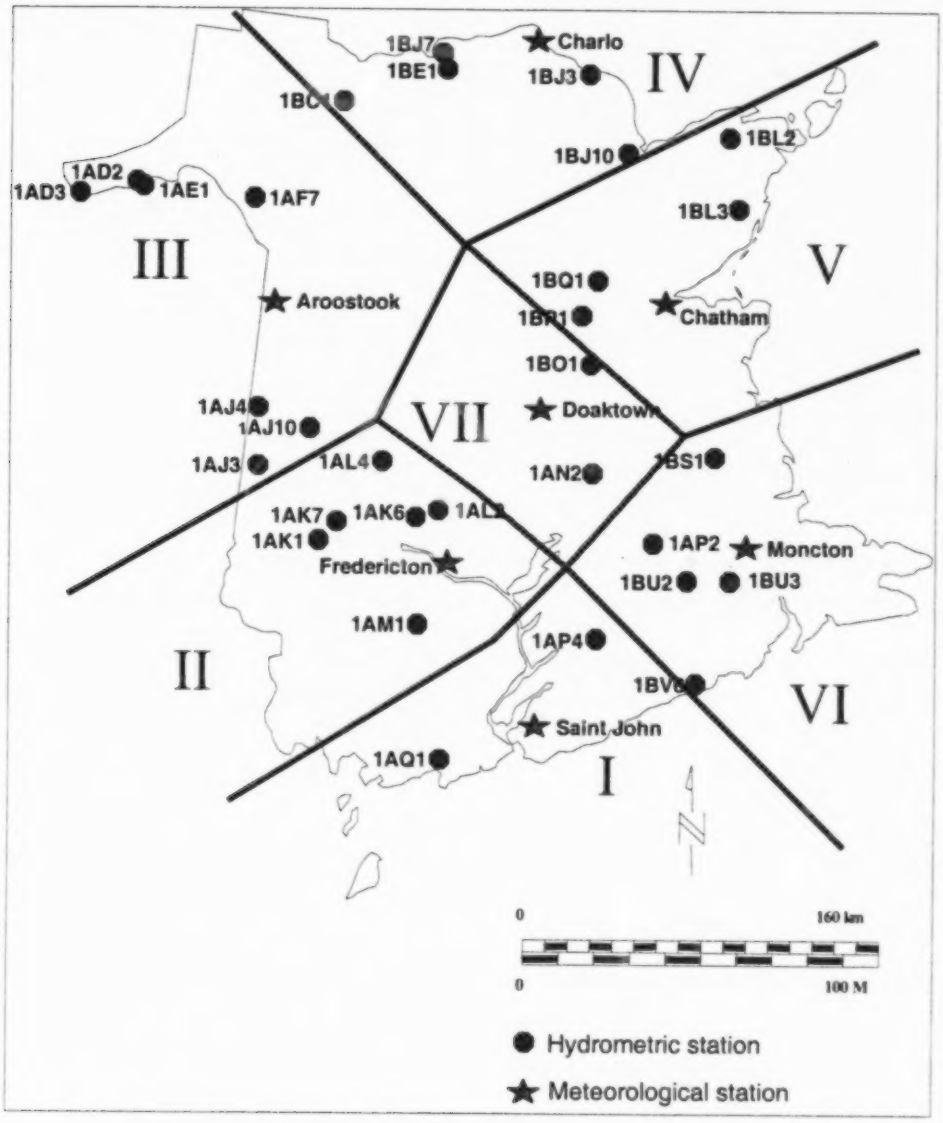

Figure 2. The province of New Brunswick divided into homogenous precipitation zones according to Thiessen polygons, giving 7 distinct regions each represented by a meteorological station.

Province du Nouveau-Brunswick divisée en zones de précipitation homogène selon la méthode des polygones de Thiessen, donnant 7 régions distinctes, chacune représentée par une station météorologique.

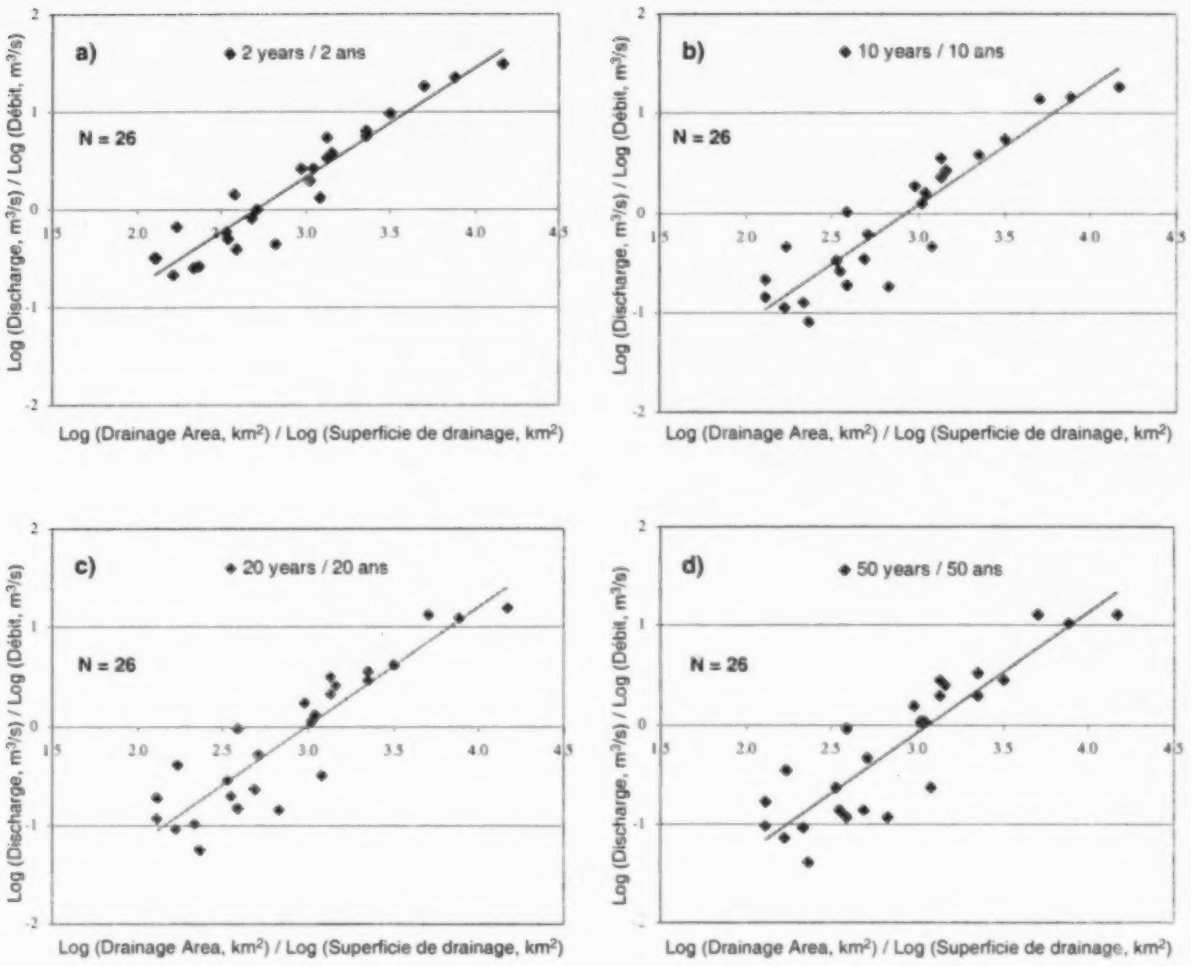

Figure 3. Regression analysis of 1-day low flow for return periods of 2, 10, 20, and 50 years (Log (Discharge, m^3/s) vs. Log (Drainage area, km^2)). Equations are applicable to basins with a drainage area from 129 km^2 to 14 700 km^2. N = number of analysed stations (see text for details).

Analyse de régression des faibles débits de 1 jour pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans (Log (Débit, m^3/s) vs Log (Superficie de drainage, km^2)). Les équations s'appliquent sur les bassins ayant des superficies de drainage allant de 129 km^2 à 14 700 km^2. N = nombre de stations analysées (voir texte pour plus de détails).

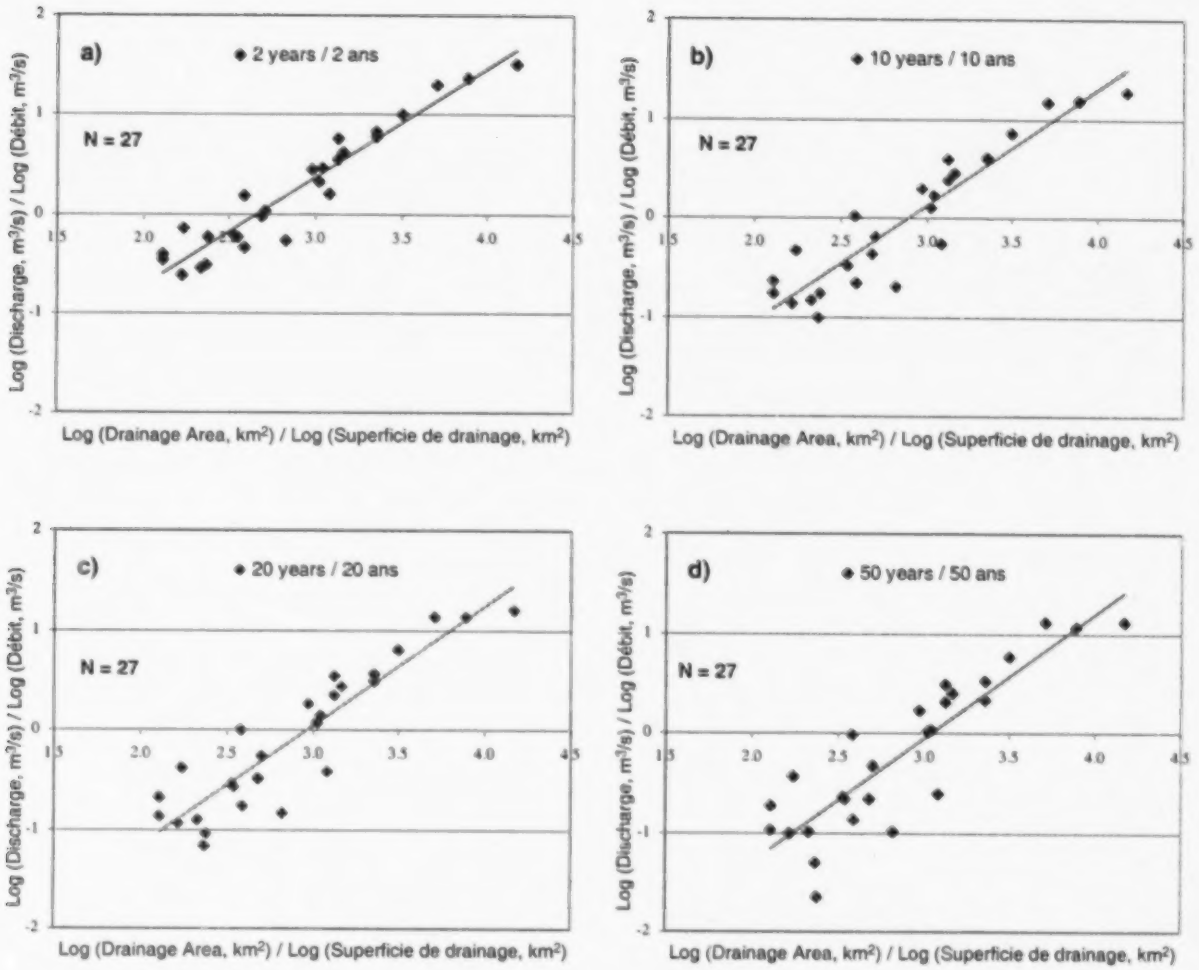

Figure 4. Regression analysis of 7-day low flow for return periods of 2, 10, 20, and 50 years (Log (Discharge, m^3/s) vs. Log (Drainage area, km^2)). Equations are applicable to basins with a drainage area from 129 km^2 to 14 700 km^2. N = number of analysed stations (see text for details).

Analyse de régression des faibles débits de 7 jours pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans (Log (Débit, m^3/s) vs Log (Superficie de drainage, km^2)). Les équations s'appliquent sur les bassins ayant des superficies de drainage allant de 129 km^2 à 14 700 km^2. N = nombre de stations analysées (voir texte pour plus de détails).

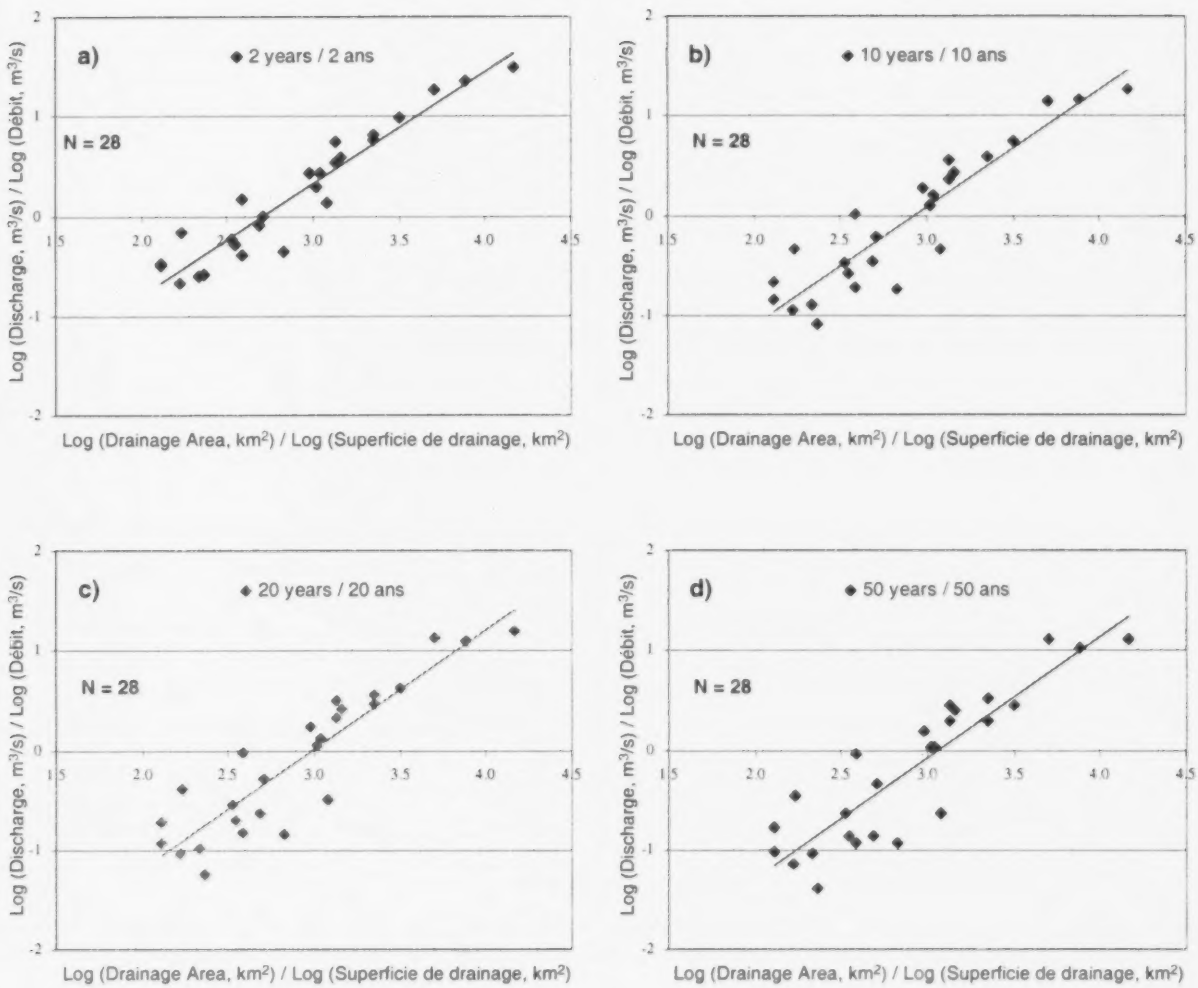

Figure 5. Regression analysis of 14-day low flow for return periods of 2, 10, 20, and 50 years (Log (Discharge, m^3/s) vs. Log (Drainage area, km^2)). Equations are applicable to basins with drainage area from 129 km^2 to 14 700 km^2. N = number of analysed stations (see text for details).

Analyse de régression des faibles débits de 14 jours pour une période de récurrence de 2, 10, 20 et 50 ans (Log (Débit, m^3/s) vs Log (Superficie de drainage, km^2)). Les équations s'appliquent sur les bassins ayant des superficies de drainage allant de 129 km^2 à 14 700 km^2. N = nombre de stations analysées (voir texte pour plus de détails).